

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Tiempo de Sonicación de Semillas de Chile Chiltepín (*Capsicum annuum* var.
glabriusculum) y el Efecto en la Germinación

Por:

ALEXIS FABIÁN GONZÁLEZ TORRES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Tiempo de Sonicación de Semillas de Chile Chiltepín (*Capsicum annuum* var.
glabriusculum) y el Efecto en la Germinación

Por:

ALEXIS FABIÁN GONZÁLEZ TORRES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

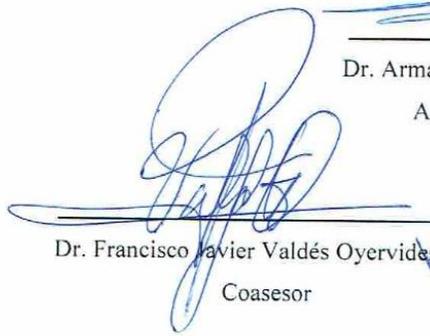
INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



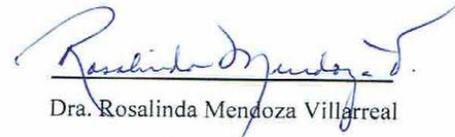
Dr. Armando Hernández Pérez

Asesor Principal



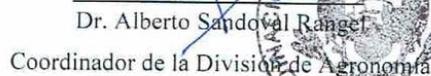
Dr. Francisco Javier Valdés Oyervides

Coasesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal

Coasesora



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2023

Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante



Alexis Fabián González Torres

Nombre y firma

AGRADECIMIENTOS

Alma Terra Mater

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro quien me brindo la oportunidad de conocer diferentes perspectivas de la vida fomentando la pasión por el campo, formando parte de ella logre ser una persona más preparada con la visión de superarme y lograr cada una de mis metas, además de conocer grandes maestros y amigos quienes me apoyaron en todo momento.

A mi asesor principal

Dr. Armando Hernández Pérez quien me brindo su conocimiento y apoyo con la mejor disposición, orientando mis dudas y compartiendo ideas relacionadas a la agricultura, logrando fomentar el sentimiento de entusiasmo por mi investigación.

A mis coasesores

Quienes con su conocimiento lograron guiarme en todo momento durante la investigación, siendo un apoyo fundamental para lograr mis objetivos con éxito.

A mis maestros

Por formar parte de mi preparación académica y dejarme grandes enseñanzas que me servirán para estar preparado en mi ámbito laboral.

A mi novia

Melina Sánchez Castillo quien ha sido un pilar en mi vida y carrera universitaria, impulsándome a ser una mejor persona, contando con su apoyo incondicional para lograr el éxito en mi investigación.

A mi amigo

Sergio Yovany Pulido Núñez por siempre estar dispuesto a brindarme su apoyo y consejos siendo un gran amigo y colega.

DEDICATORIA

A Dios y San Judas Tadeo

Les agradezco infinitamente por siempre guiarme por el mejor camino y cuidar de mi y mi familia, siendo este triunfo la prueba de que siempre me acompañan en los momentos buenos y difíciles.

A mis padres

Dora Alicia Torres De Anda y Cesar Eulalio González Elías quienes con su apoyo y confianza me brindaron lo necesario para lograr alcanzar mi meta y durante el camino compartieron momentos de alegría, tristeza y sacrificios, les agradezco por hacer de mi un hombre de bien y alentarme a vivir mis sueños convirtiéndome en un profesionalista.

A mis hermanos

Cesar Uriel González Torres y Miguel Ángel González Torres quienes han compartido momentos de felicidad y siempre tendré presente que contaré con su apoyo y motivación de seguir adelante.

A mis sobrinos

Cesar Esteban y Ángel Sebastián por permitirme vivir momentos de felicidad a su lado y alentarme a ser una mejor persona.

A mi novia

Melina Sánchez Castillo por tantos momentos de felicidad y darme tu amor incondicional, contando infinitamente con tu apoyo esperando cumplir grades sueños juntos.

A mi suegra

Ma. Teresa Castillo Coronado por contar con su apoyo y consejos siendo fundamental para mi preparación académica, alentándome a nunca darme por vencido y luchar por mis metas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
ÍNDICE DE CONTENIDO	III
ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VI
RESUMEN	1
I. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3
1.3. Hipótesis	3
II. LITERATURA REVISADA	4
2.1. Taxonomía	4
2.2. Descripción Botánica	4
2.3. Requerimientos Edafoclimaticos	5
2.4. Requerimientos Hídricos	5
2.5. Problemática en la Germinación de Semillas	6
2.6. Técnicas: Escarificación y Estratificación	7
2.7. Sonicación	8
2.8. Respuestas de Semillas por la Escarificación	8
2.9. Germinación	9
2.10. Características de Plántula	10
III. MATERIALES Y MÉTODOS	11
3.1. Localización del experimento	11
3.2. Instalación del experimento	11
3.3. Material vegetal	11
3.4. Sonicación de semillas	11
3.5. Siembra	12
3.6. Tratamientos	12
3.7. Diseño experimental	12
3.8. Riego y fertilización	13
3.9. Manejo del plagas y enfermedades	13

3.10. Variables evaluadas	13
Porcentaje de germinación (PG).....	13
3.11. Análisis estadístico.....	13
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
Porcentaje de germinación (DDS19).....	15
V. CONCLUSIÓN	17
VI. BIBLIOGRAFÍA	18

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Taxonomía de Chile Chiltepín.....	4
Cuadro 2. Tratamientos evaluados.	12
Cuadro 3. Fertilización Steiner al 50 % con CE:1.....	13
Cuadro 4. Efecto de los diferentes tiempos de sonicación en el porcentaje de germinación en semillas de chiltepín.....	15

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efectos de tiempo de sonicación en la germinación de semillas de chile chiltepín. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos. ANVA $P \leq 0.0001$. ANVA= Análisis de varianza. Las letras a, b, c, d y e son las categorías obtenidas de la comparación de media con Tukey al 0.0516

RESUMEN

El chiltepín *Capsicum annuum* L. var. *Glabriusculum* es conocido por presentar problemáticas de germinación, esto se atribuye a la semilla que presenta una cubierta dura. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo de determinar el tiempo de sonicación de las semillas de chile chiltepín y el efecto en la germinación. Los tratamientos consistieron en cinco tiempos (0.0, 2.5, 5.0, 7.5 y 10 minutos, respectivamente), utilizando un sonicador Branson con frecuencia 40 kHz. El diseño experimental fue completamente al azar con 4 repeticiones y cada repetición con 50 semillas. La variable evaluada fue la germinación de la semilla a través de tiempo, a los 7, 10, 13, 16 y 19 días después de la siembra (DS7, DS10, DS13, DS16 y DS19, respectivamente) y consecutivamente sacar el porcentaje de germinación a cada tratamiento. A los días DS7, DS10, DS13 y DS16 presentaron diferencias significativas por efecto de la sonicación de estas semillas. El mayor porcentaje de germinación se observó en semillas sonicadas con 7.5 y 10 minutos a los días DS7 en comparación del testigo, sin embargo, con 5 minutos de sonicación se registró el menor porcentaje de germinación. A los días DS10 se obtuvo un incremento en el porcentaje de germinación en el tiempo de 10 minutos comparándolo con el testigo, mientras que, en el día DS13 se presentó un aumento del porcentaje de germinación en los tiempos 7.5 y 10 minutos con respecto a las semillas no sonicadas (testigo). Asimismo, el mayor porcentaje de germinación a los días DS16 y DS19 fue en semillas sonicadas a 10 minutos. La sonicación de las semillas de chile chiltepín puede ser una alternativa para incrementar el porcentaje de germinación, pues a mayor tiempo de sonicación este se aumentó.

Palabras claves: Escarificación, Kilohercio (kHz), minutos, germinación, incremento.

I. INTRODUCCIÓN

Con el termino chile se identifica varias especies cultivadas que pertenecen al género *Capsicum*. Siendo originario del continente americano y utilizados por diversos pueblos nativos en épocas precolombinas (Carrizo, 2019). Siendo uno de los cultivos agrícolas más importantes en México y el mundo, porque sus frutos se consumen tanto en fresco como seco para proporcionar color, sabor y aroma a infinidad de platillos, lo que lo sitúa entre las principales especias. México es el país con la mayor diversidad de *Capsicum annuum*, donde se cultiva prácticamente en todo el territorio, con sistemas de producción y problemáticas muy diversos (Aguilar, 2012).

El chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*) es una especie originaria de América del norte, específicamente en la zona sur de Estados Unidos y la parte norte de México, distribuyéndose por todas las zonas del desierto chihuahuense, desierto de Sonora y algunas zonas del altiplano mexicano (Arizona, 2021). La recolecta y presión antropogénica; por su extracción irracional, cuya germinación baja de sus semillas, la demanda creciente del fruto y prácticas de manejo agronómico podría verse amenazada en corto plazo esta especie de chile (Beltrán *et al.*, 2020). Para la comercialización de este producto es difícil de obtener, debido a que los pobladores de la región se tienen que introducir a la sierra y recorrer grandes distancias para hallarla. Por otra parte, la semilla puede germinar en un ambiente natural después de haber sido previamente ingerida por las aves, pasando por su tracto digestivo y defecarlas, contribuyendo de esta manera a su distribución y germinación (Araiza *et al.*, 2011).

Sin embargo, la creciente demanda del fruto para el consumo y la baja tasa de germinación que presentan estas semillas obliga a buscar técnicas que permitan aumentar la tasa de germinación. La dormancia o latencia se define como el estado en el cual una semilla viable presenta impedimentos para completar la germinación en condiciones favorables dependiendo tanto de las características fisiológicas y morfológicas de la semilla (Mérola *et al.* 2012). La escarificación y estratificación son técnicas que por medio de procedimientos mecánicos o químicos se induce la germinación a través de la rotura, abrasión o ablandamiento

de la cubierta seminal, haciendo más permeable el movimiento de agua y gases (Rodríguez *et al.*, 2017).

1.1. Objetivo general

Determinar el tiempo de sonicación de las semillas de chile chiltepín y el efecto en la germinación.

1.2. Objetivos específicos

- Identificar el mejor tiempo de sonicación de las semillas de chiltepín que aumenta la tasa de germinación.
- Evaluar el efecto de sonicación de la semilla de chile chiltepín a diferentes días después de la siembra (DS).

1.3. Hipótesis

Al implementar la escarificación mecánica por medio de la sonicación se generará un rompimiento de la cutícula de las semillas, y por ende una mayor tasa de germinación de chile chiltepín.

II. LITERATURA REVISADA

2.1. Taxonomía

La taxonomía busca agrupar las plantas sobre la base de similitudes y diferencias, que según se cree son expresiones de parentesco filogenético, por otra parte, la nomenclatura es indispensable ya que nos permite facilitar el proceso de identificación (Marzocca, 1985).

Cuadro 1. Taxonomía de Chile Chiltepín

Reino	Plantae
Subfilo	Euphyllophytina
Infafilo	Radiatopses
Subclase	Magnoliidae
Superorden	Asteranae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Tribu	Solaneae
Género	<i>Capsicum</i>
Especie	<i>C. annuum</i>
Variedad	<i>glabriusculum</i>

2.2. Descripción Botánica

Se considera una planta herbácea, arbustiva o trepadora, anual o perenne, que alcanza una medida de 0.5 a 2 m de altura (Ramírez, 2017).

El tallo: Las plantas presentan un solo tallo y ramas ascendentes y extendidas; color verde, castillados, pubescentes con pelos incurvados de 0.4 mm de largo (Paz, 2021).

Las hojas: Las hojas son solitarias o en pares, con forma lanceolada-ovalada, de 2 a 8 cm de largo y 1 a 3 cm de ancho, esparcidamente pubescentes en ambas superficies o lisas, el ápice acuminado, la base cuneada y abruptamente acuminada en el pecíolo con medida de 5-20 mm de largo (Paz, 2021).

Las flores: Presentan flores de corola blanca, raramente verdosa, de forma rotado-campanulada de 9 mm de ancho, con lobulos ovado-triangules de 3 mm de largo; filamentos de 1 a 1.5 mm de largo, glabros, anteras color verde-azulosas de 1 mm de largo por 0.5 mm de ancho; estilo de 2.5 mm de largo (Ramírez, 2017).

Los frutos: Los frutos son bayas de forma ovoide o globosa, de 8 a 10 mm de largo por 5 a 8 mm de ancho, lustroso, extremadamente picantes, de color verde o púrpura oscuro al estar inmaduros, tornándose a un color rojo-naranja al madurar (Ramírez, 2017).

Las semillas: Las semillas presentan un color pardo amarillentas, comprimidas, de 2.5 mm de largo (Paz, 2021).

2.3. Requerimientos edafoclimáticos

Los requerimientos edafoclimáticos de esta especie son;

Climas cálidos con temperaturas mínimas y máximas con un promedio anual entre los 25-41° C.

Humedad relativa de 20-80 %.

Materia orgánica de 5.7 %

Suelos delgados con textura franco-arenosa y un pH neutro a ligeramente ácido (Leyva, 2013).

2.4. Requerimientos Hídricos

El *Capsicum annuum L. var. Glabriusculum* es considerada una especie silvestre, por ende, sus requerimientos hídricos se estiman de las zonas donde se encuentra un mayor registro de población, una de estas zonas es el municipio de Baviacora Sonora, México.

CONAGUA (2018) registro una precipitación media anual de 482.2 milímetros y una máxima de 881.1, considerando estos registros como el requerimiento hídrico necesario de una planta de chile chiltepín.

2.5. Problemática en la Germinación de Semillas

El proceso de germinación esta influenciado por factores internos y externos, dentro de los factores internos se encuentra la madurez de la semilla, la viabilidad del embrión, la cantidad y calidad del tejido de reserva y los diferentes tipos de dormancia. Los factores externos que regulan el proceso son el grosor de la testa, oxígeno, disponibilidad del agua, temperatura y tipo de luz (Gastón de Iriarte, 2017).

La forma de reproducción por medio de semillas se conoce como sexual, es de suma importancia preservar este método ya que, nos permite disponer del material genético de las especies nativas de manera natural (Chi, 2021)

Existen diversas problemáticas que causan baja tasa de germinación en diversas especies, la dormancia; es la capacidad de que las semillas retrasen el proceso de germinación hasta que las condiciones ambientales sean ideales, que permiten los mecanismos de supervivencia de las plántulas (De la Cruz *et al.*, 2019).

Dormancia primaria se efectúa por dos factores; exógenos y endógenos.

La dormancia exógena hace referencia a las condiciones ambientales básicas que determinan el proceso de la germinación como la disponibilidad de agua que está directamente influenciada por la presencia de la testa y permeabilidad que esta tenga al intercambio gaseoso, la temperatura que se asocia con el proceso de germinación ya que afecta el porcentaje, tasa diaria, tasa de absorción de agua, velocidad de las reacciones enzimáticas y el transporte de las sustancias de reserva y por último el factor de la luz que se asocia con la clasificación de semillas que necesitan condiciones de luz u oscuridad para germinar.

La dormancia endógena es inherente a las características internas de la semilla entre ellos se encuentra la dormancia por embriones rudimentarios que consta de algunas especies que el proceso de maduración morfológica del embrión ocurre después del proceso de dispersión, la inhibición metabólica que consta de compuestos presentes en las semillas que inhiben vías

metabólicas específicas; por ejemplo la presencia de cianuro en algunas semillas bloquea la cadena de transporte de electrones en el proceso respiratorio y la inhibición osmótica que al existir alta presión osmótica inhibe el proceso de germinación en semillas ya que los compuestos como azúcares o sales en concentraciones altas pueden ser buenos competidores por la disponibilidad de agua con las semillas lo cual lleva a que el proceso de inhibición en las semillas no se complete (Melgarejo, 2010).

Dormancia secundaria consta de situaciones en las que las semillas son viables y se encuentran con condiciones que generan la inducción a la dormancia, algunos de los ejemplos pueden ser causados por la deshidratación, temperaturas altas, largos periodos de almacenamiento, almacenamiento en obscuridad, exceso o ausencia de agua, compuestos químicos y gases (Azcón *et al.*, 2008).

2.6. Técnicas: Escarificación y Estratificación

La escarificación es una técnica que se utiliza como alternativa para modificar condiciones (testa dura, sustancias químicas y condiciones no favorables) que no permiten una adecuada germinar de diversas especies, existen dos tipos de escarificación; mecánica y química (Sánchez *et al.*, 2017).

La escarificación mecánica consta en modificar las cubiertas duras e impermeables de las semillas, la mayoría de las especies con cubierta dura se someten a tratamientos artificiales con la finalidad de permitirle al embrión germinar (Monotoa, 2012).

La escarificación química consiste en remojar las semillas por diversos periodos que alcanzan desde 15 minutos hasta 2 horas en compuestos químicos, el tiempo empleado varía según la especie, al final del tratamiento las semillas deben ser lavadas con abundante agua para retirar el restante compuesto (Varela 2011).

2.7. Sonicación

La sonicación o también conocido como ultrasonido (US) se considera una tecnología de gran interés debido a los efectos prometedores que efectúa en la ciencia (Knorr *et al.*, 2004). Bazán (2017) menciona que, la sonicación es un sonido con frecuencia más alto de lo que puede percibir el oído humano (16 KHz) por lo cual las aplicaciones de las ondas ultrasónicas se dividen en dos grupos en la industria de los alimentos: baja y elevada intensidad.

Las de baja intensidad involucran el uso de frecuencias altas (2-10 MHz), siendo que este tipo de ondas no causan daños físicos ni químicos en las propiedades de los alimentos mientras que en las de alta intensidad se usan frecuencias bajas que van de 20-100 KHz, que si causan daño estructural al alimento.

Según Barbosa *et al.* (2000) define ultrasonido como una energía generada por ondas de sonido de 20000 o más vibraciones por segundo. La aplicación de ultrasonido está asociado a los fenómenos complejos de cavitación gaseosa que explican la generación y evolución de microburbujas en un medio líquido (Galeazzi *et al.*, 2022).

Al generarse la formación interrumpida de microburbujas cuyo tamaño aumenta miles de veces; expandiéndose en alternancia de los ciclos de presión. Las microburbujas que alcanzan un tamaño crítico implosionan o colapsan violentamente para volver al tamaño original, al colapsar libera la energía acumulada ocasionando incrementos de temperatura instantáneos (Sullca, 2018).

2.8. Respuestas de Semillas por la Escarificación

La escarificación no solo incrementa el porcentaje de germinación, sino que también reduce el tiempo en el que las semillas comienzan a germinar, es importante resaltar que el uso de esta técnica no solo aumenta la germinación sino también permite preservar ciertas especies de plantas que presentan diversos problemas de germinación. Sanabria *et al.* (2001) menciona que, la escarificación química con ácido sulfúrico concentrado favoreció la germinación de las semillas de *Centrosema rotundifolium* prolongando el tiempo de inmersión de 32 min. Madueño *et al.* (2006) reportan que, la escarificación química con ácido sulfúrico concentrado durante 30 minutos vario entre 14.0 y 99.2 % comparado con el testigo dando

también como resultado la aplicación de calor a 70° C durante 5 horas promovieron el aumento del porcentaje de germinación que vario entre 16.0 y 83.5 % en semillas de frijolillo.

Flores *et al.* (2020) indican que, la escarificación mecánica a mano durante cinco minutos utilizando papel lija #125 aumento la germinación de semillas de soya perenne a un 90 % en el día 9. Jiménez *et al.* (2002) menciona que, se realizaron cuatro tratamientos y un testigo que constaron de escarificación química con agua oxigenada en concentración de 5 %, ácido giberélico a 100 ppm por 24 horas, agua con temperatura de 35° C durante 24 horas y la escarificación mecánica mediante la eliminación manual de la testa, donde se concluyó como mejor resultado la escarificación mecánica dando un porcentaje del 80.22 % en 84 días en la germinación de palma camedor.

2.9. Germinación

La germinación es un fenómeno por lo cual un embrión debe someterse, es importante que este se encuentre en un estado viable dentro de la semilla, para así lograr reanudar su crecimiento y desarrollo con la finalidad de formar una nueva planta (Marassi, 2013).

El proceso de germinación en las semillas se comprende por tres etapas sucesivas;

La primera etapa: consiste en la absorción de agua por imbibición, causando su hinchamiento y ruptura final de la testa, en la segunda etapa: está el inicio de la actividad enzimática y del metabolismo respiratorio, translocación y asimilación de las reservas alimentarias en las regiones en crecimiento del embrión y la tercera etapa: se encuentra el crecimiento y la división celular que provoca la emergencia de la radícula y posteriormente la plúmula (Vázquez *et al.*, 1997).

Existen dos tipos de germinación que en ocasiones presentan variantes. En la germinación epigea el hipocótilo se alarga y aleja los cotiledones del suelo que pueden realizar funciones fotosintéticas, mientras que, en la germinación hipogea el hipocótilo no se desarrolla y los cotiledones permanecen bajo el suelo o ligeramente sobre el, para que posteriormente el

epicótilo se alargue y presente las primeras hojas verdaderas que tienen como propósito almacenar nutrientes (Rosabal *et al.*, 2014).

2.10. Características de Plántula

El trasplante es la acción de trasladar definitivamente en diferentes tipos de ambientes; campo abierto, malla sombra, macrotuneles, suelos acolchados e invernaderos, las plántulas obtenidas de los almácigos; es importante considerar que reúna las condiciones y características morfológicas óptimas (Thun, 2007).

La mayoría de los cultivos de hortalizas se pueden producir a partir del trasplante de plántulas, para determinar la calidad de las plántulas se consideran las siguientes características; plántula vigorosa con sistema radicular bien desarrollado, hojas robustas con coloración verde, libre de plagas y enfermedades, tamaño (10-15 centímetros) y desarrollo homogéneo (Vavrina, 1996).

Las ventajas del trasplante sobre la siembra directa son la reducción de semillas y costo; esta ventaja se presenta especialmente en especies con dificultad de germinación, por otra parte, podemos presenciar la uniformidad de crecimiento, floración temprana y precocidad en la producción (Montaño *et al.*, 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del experimento

El presente experimento se llevó a cabo durante los meses de marzo a noviembre de 2023 en el Departamento de Horticultura en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ubicada en Buenavista Saltillo, Coahuila.

3.2. Instalación del experimento

Para la siembra de semillas sonicadas se utilizaron charolas de 200 cavidades que se dejaron germinar en un invernadero de 400 m².

3.3. Material vegetal

Para la siguiente investigación se utilizaron semillas de chile chiltepín silvestre, que fueron adquiridas en Sonora, México. Dando características de una planta arbustiva anual o perenne con hojas de color verde, flores blancas, frutos color rojo-naranja y semillas de color blanco-amarillenta con una cubierta resistente (Bañuelos *et al.*, 2008).

3.4. Sonicación de semillas

La sonicación de semillas de chile chiltepín se llevó a cabo el día 11 de septiembre de 2023 en el laboratorio de fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, este proceso se realizó a través de un sonificador Branson con frecuencia 40 kHz al cual se le agrego agua de la llave en la parte de la bandeja, para posteriormente, poner vasos de precipitado con agua destilada, en los cuales se introdujeron semillas que fueron puestas a sonicar en diferentes tiempos ya para concluir con el tratamiento se colaron las semillas y se

almacenaron en frascos llenos de agua con pH 5, hasta poder trasladarlas al invernadero donde se procedió la siembra.

3.5. Siembra

La siembra se realizó de manera manual el día 11 de septiembre de 2023 utilizando charolas de 200 cavidades y una mezcla de sustrato peat moos y perlita a una proporción de 90/10 v/v, se sembrando a una profundidad de 3 a 5 mm aproximadamente para posteriormente tapar las charolas con bolsas negras para crear un microambiente adecuado para su germinación, mismo que, fueron resguardadas dentro de un invernadero.

3.6. Tratamientos

Se evaluaron tiempos de sonicación, dando un total de cinco tratamientos con cuatro repeticiones (Cuadro 2).

Cuadro 2. Tratamientos evaluados.

Tratamientos	Tiempo (minutos)
T1	0.0
T2	2.5
T3	5.0
T4	7.5
T5	10

3.7. Diseño experimental

Se utilizo un diseño completamente al azar, con cuatro repeticiones donde cada repetición estuvo constituida por 50 semillas.

3.8. Riego y fertilización

El riego se realizó de manera manual tres veces por semana aplicando 1 litro de agua por charola, este aumentaba de acuerdo con el clima del sector, la fertilización consto de una solución Steiner modificada al 50%.

Cuadro 3. Fertilización Steiner al 50 % con CE:1.

NO_3^-	H_2PO_4^-	$\text{SO}_4^{=}$	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}
11.37	2.00	6.63	7.00	9.00	4.00
5.68	1.00	3.32	3.50	4.50	2.00

3.9. Manejo del plagas y enfermedades

Se encontró la presencia de pulgón verde *Aphididae* en las plantulas y como control se utilizó un plaguicida organico de nombre Azeem con dosis de 2ml por litro de agua.

3.10. Variables evaluadas

Germinación (G) La germinación se determinó mediante un conteo visual, tomando en cuenta las semillas germinadas de cada cavidad de la charola.

Porcentaje de germinación (PG)

El porcentaje de germinación se determinó a través de una formula, tomando en cuenta las plántulas que germinaron en la charola.

Formula:

$$\text{PG} = \left[\frac{\text{N.º semillas germinadas}}{\text{N.º semillas sembradas}} \right] \times 100 \text{ (Caroca et al., 2016).}$$

3.11. Análisis estadístico

Los datos colectados se sometieron a un análisis de varianza (ANVA) y una prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$), utilizando un programa de SAS 9.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El porcentaje de germinación en semillas de chile chiltepín fueron afectadas por los diferentes tiempos de sonicación. A los días 7, 10, 13 y 16 después de la siembra (DS) presentaron diferencias significativas por efecto de la sonicación (Cuadro 3). En los días DS7 se observó mayor porcentaje de germinación en los tiempos de 7.5 y 10 minutos, respectivamente en comparación del testigo, sin embargo con 5 minutos de sonicación se registró el menor porcentaje de germinación, en el día DS10 se registró mayor porcentaje de germinación en el tiempo de 10 minutos comparándolo con el testigo, mientras que, en el día DS13 se obtuvo un incremento del porcentaje de germinación en los tiempos 7.5 y 10 minutos con respecto a las semillas no sonicadas (testigo), por otro lado, el mayor porcentaje de germinación fue en el tiempo de 10 minutos del día DS16 con diferencia del testigo (Cuadro 4).

El incremento del porcentaje de germinación de las semillas de chiltepín puede ser debido a la ruptura de cubierta de las semillas y por lo tanto, favorece la imbibición del agua y el crecimiento del embrión. Por su parte, Chen *et al.* (2023), reportan que, la cubierta de la semilla de soya exhibió grietas y agujeros notables después de la ultrasonicación, lo que resultó en una aceleración de la absorción de agua y este fue beneficioso para el metabolismo de las semillas y su posterior germinación. Asimismo, la energía que se genera por la vibración de la sonicación cambia la estructura de la pared celular y aumenta la permeabilidad de las membranas internas y externas de las células de las semillas, lo que acelera la reacción bioquímica en las células y promueve la germinación de las semillas de trigo (Chen *et al.*, 2013). Asimismo, Goussous *et al.* (2010) menciona que, al realizar un experimento con un dispositivo ultrasónico de 40 KHz en semillas de garbanzo, trigo, pimiento y sandía con variaciones de 5, 10, 15, 30, 45 y 60 minutos, los resultados variaron entre cultivos y fueron más evidentes en la velocidad de la germinación, al resultar un aumento significativo del índice de tasa de germinación de garbanzos, trigo y sandía, lo que dio un aumento máximo del 133 % a los 45 minutos, 95 % en 30 minutos y 45 % en 5 minutos respectivamente por encima de las semillas de control.

Cuadro 4. Efecto de los diferentes tiempos de sonicación en el porcentaje de germinación en semillas de chiltepín.

Tiempo (min)	DS7	DS10	DS13	DS16
0.0	11.5 b	25.0 d	30.0 d	41.5 e
2.5	8.0 b	29.0 d	49.0 c	55.5 d
5.0	2.5 c	38.5 c	63.0 b	65.5 c
7.5	28.5 a	59.5 b	70.5 a	76.5 b
10	29.5 a	67.0 a	74.5 a	88.0 a
ANVA ≤	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
CV (%)	10.7	6.2	5.5	4.2

ANVA= análisis de varianza, CV= coeficiente de variación. Las letras a, b, c, d y e son las categorías obtenidas de la comparación de medias con Tukey al 0.05. DS7= 7 días después de la siembra.

Porcentaje de germinación (DS19)

La germinación de las semillas de chiltepín se obtuvo una diferencia significativa en el día DS19 respecto a los tiempos de sonicación de estas. El mayor porcentaje de germinación se presentó en el día DS19, mientras que, el más bajo porcentaje de germinación se observa en aquellas semillas que no fueron sonicadas (Figura 1). El aumento del tiempo de sonicación de las semillas incrementa el porcentaje de germinación de estas. Este comportamiento se ajusta a un modelo polinomial cuadrático (Figura 1).

El porcentaje de germinación se aumenta al someter las semillas a un proceso de sonicación, dando el resultado del desgase de la testa, para lograr modificar las condiciones que no permiten su germinación, este proceso también logra disminuir los días en que una semilla germina, según Machikowa *et al.* (2013) menciona que, al realizar un tratamiento de ultrasonido con semillas de girasol a una frecuencia de 40 KHz con intensidades de 40, 60, 80 y 100 % de la potencia total del ultrasonido y variables de tiempos; 5, 10, 15 y 20 minutos, se aumento significativamente la germinación en un 43 % a intensidades de 40 y 60 %.

Además de que las plántulas de estos tratamientos resultaron en un mayor desarrollo radicular y longitudes de brotes. Asimismo, Yaldagard *et al.*, (2008) menciona que, el tratamiento de ultrasonido en semillas de cebada con una potencia del 20 al 90% de 460 W y la variación de tiempo que oscilaron entre 5 y 15 minutos, dio como resultado el aumento de 1.042 y 1.065 veces mas a comparacion de las semillas no tratadas, por lo que el ultrasonido es eficaz y mejora la germinación de estas semillas además de disminuir el periodo de germinación, por un mejor proceso de hidratación de la cáscara.

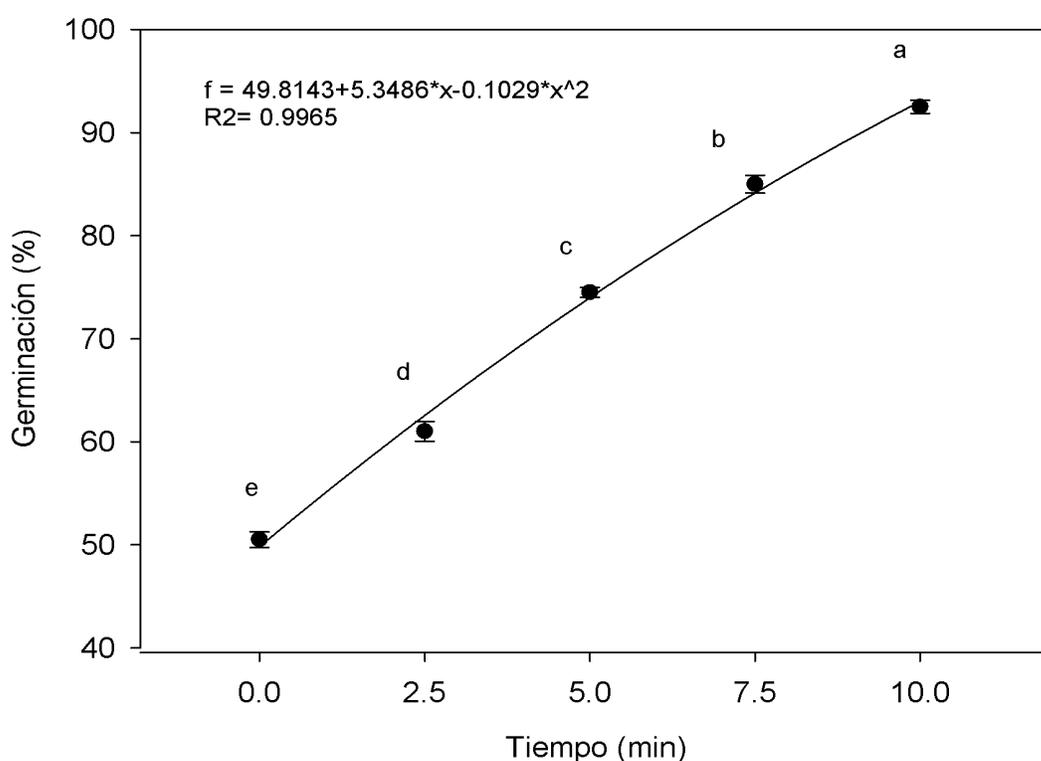


Figura 1. Efectos de tiempo de sonicación en la germinación de semillas de chile chiltepín. Las barras indican el error estándar de la media de los tratamientos. ANVA $P \leq 0.0001$. ANVA= Análisis de varianza. Las letras a, b, c, d y e son las categorías obtenidas de la comparación de media con Tukey al 0.05

V. CONCLUSIÓN

La sonicación es una estratificación mecánica que desgasta las cubiertas duras de las semillas, pues, las semillas de chile chiltepín presenta estas características, sin embargo, se aumentó significativamente el porcentaje de germinación al ser sonicadas principalmente en los tiempos de 7.5 y 10 minutos.

Con esta técnica es posible lograr disminuir la problemática que presenta este tipo de semillas, siendo la baja tasa de germinación en énfasis a la producción.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar V. H. (2012). Cultivo del chile en México. *Revista fitotecnia mexicana*, 35(4), 264-264.
- Araiza N., Araiza E. y Martínez J. G. (2011). Evaluación de la germinación y crecimiento de Plántula de Chiltepín (*Capsicum annum* L variedad *glabriusculum*) en invernadero. *Revista colombiana de biotecnología*, 13(2), 170-175.
- Azcón J. y Talón M. (2008). Fundamentos de la fisiología vegetal segunda edición. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Bañuelos N., Salido P. L. y Gardea A. (2008). Etnobotánica del chiltepín: Pequeño gran señor en la cultura de los sonorenses. *Estudios Sociales (Hermosillo, Son.)*, 16(32), 177-205.
- Barbosa G. V., Pierson M. D., Zhang Q. H. y Schaffner D. (2000). Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. *Journal of Food Science*
- Bazán M. A. (2017). Efecto de la deshidratación osmótica asistida por sonicación en los cambios de color en carne de cerdo (*Longissimus dorsi*). (Master's thesis).
- Beltrán J. N., López M. C. G., Hernández E. y Cruz N. (2020). Germinación in vitro de chile chiltepín (*Capsicum annum* L. var. *glabriusculum*) y regeneración por organogénesis. *Agrociencia*, 54(2), 195-208.
- Caroca R., Zapata N. y Vargas M. (2016). Efecto de la temperatura sobre la germinación de cuatro genotipos de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 32(2), 94-101
- Carrizo C. (2019). Breve historia evolutiva del género *Capsicum*.
- Chi F. (2021). Manual de propagación de plantas para viveros. Obtenidos de CICY: https://www.cicy.mx/Documentos/CICY/sitios/CircuitoEtnobiologico/Repositorio/Documentos/2021_07%20Manual%20de%20propagaci%C3%B3n%20Plantas%20Vivero.PDF.
- Chen, J., Shao, F., Igbokwe, CJ, Duan, Y., Cai, M., Ma, H. y Zhang, H. (2023). Los tratamientos con ultrasonido mejoran la germinabilidad de las semillas de soja: el papel clave de la frecuencia de trabajo. *Sonoquímica ultrasónica* , 96 , 106434.
- Comisión nacional del agua. (2018). *Proyecto de bases de datos climatológicas*. Coordinación general del servicio meteorológico nacional. [2018; noviembre 2023]. Recuperado de: https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/Mensuales/son/mes26198.TXT

De la Cruz C., y Kidt, J. (2019). Momento de cosecha y capacidad de germinación de semillas de tres gramíneas altoandinas (*Festuca dolichophylla*, *Festuca humilior* y *Calamagrostis vicunarum*).

Flores E., Caceres W. E., Aguirre L. y Castillo M. S. (2020). Efecto de la escarificación en la germinación de semillas de soya forrajera perenne (*Neonotonia wightii*). *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(3).

Galeazzi B., Boido E., Jorcín S., López T., Dellacassa E. y Fariña L. (2022). Estudio del envejecimiento acelerado del aroma, el color y los parámetros fisicoquímicos de vinos Tannat. *Innotec*, (23).

Gastón de Iriarte C. E. (2017). Estudio de la germinación de dos especies de *Teucrium* protegidas en la Región de Murcia.

Goussous S. J., Samarah N. H., Alqudah A. M. y Othman M. O. (2010). Mejora de la germinación de semillas de cuatro especies de cultivos mediante una técnica ultrasónica. *Agricultura experimental*, 46 (2), 231-242.

Jiménez V. R., Martínez A. V., Mata J. J. y Musalem M. Á. (2002). Efecto de tratamientos en la germinación de semillas de palma camedor (*Chamaedorea elegans* MART.). *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 27(92), 95-103.

Knorr D., Zenker M., Heinz V. y Lee D. U. (2004). Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), 261-266.

Madueño A., García D., Martínez J., Rubio C., Navarrete A. y Bojórquez J. (2006). Germinación de semilla de frijolillo, *Rhynchosia minima* (L.) DC., luego de someterla a tratamientos pregerminativos. *Bioagro*, 18(2), 101-105.

Manotoa Chicaiza S. P. (2012). *Escarificación mecánica y química como tratamientos pregerminativos en semillas de olivo (olea europea)* (Bachelor's thesis).

Marassi, M. (2013). Germinación de Semillas: Cátedra de Fisiología Vegetal.

Marzocca A. (1985). Taxonomía vegetal. San José, Costa Rica: IICA.

Melgarejo L. M. (2010). Experimentos en fisiología vegetal. Colombia: Universidad nacional de Colombia.

Mérola R. y Díaz S. (2012). Métodos, técnicas y tratamientos para inhibir dormancia en semillas de plantas forrajeras. *Facultad de Ciencias Agrarias. Trabajo Postgrado. Montevideo, Uruguay*.

Montaño N. J. y Núñez J. C. (2003). Evaluación del efecto de la edad de transplante sobre el rendimiento en tres selecciones de ají dulce *Capsicum chinense* Jacq. en Jusepín, estado Monagas. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 20(2), 144-155.

Paz L. (26 de junio de 2021). Enciclo vida. Obtenido de Chiltepín *Capsicum annuum* var. *Glabriusculum*: <https://enciclovida.mx/especies/211589-capsicum-annuum-var-glabriusculum>.

Ramírez G. (2017). *Diversidad morfológica, fisiológica y climática en colectas de chile piquín (Capsicum annuum var. glabriusculum) en México* (Master's thesis).

Rodríguez M., Tampe J., Hormazábal N., Araneda X., Tighe R. y Cárcamo P. (2017). Efecto de la escarificación y estratificación sobre la germinación in vitro de *Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz. *Gayana. Botánica*, 74(2), 282-287.

Rosabal L., Martínez L., Reyes Y., Dell'Amico J. y Núñez M. (2014). Aspectos fisiológicos, bioquímicos y expresión de genes en condiciones de déficit hídrico. Influencia en el proceso de germinación. *Cultivos Tropicales*, 35(3), 24-35.

Sanabria D., Silva R., Oliveros M. A. y Barrios R. (2001). Escarificación química y térmica de semillas subterráneas de *Centrosema rotundifolium*. *Bioagro*, 13(3), 117-124.

Sánchez B. H., Pacheco E., Lugo G. A., Reyes Á. y García E. (2017). Métodos de escarificación en semillas de *Guaicum coulteri*, especie amenazada del bosque tropical caducifolio del norte de Sinaloa, México. *Gayana. Botánica*, 74(2), 262-268.

Sullca Grimaldez, L. (2018). *Efecto de ultrasonido de alta intensidad sobre propiedades reológicas de proteína de soja nativa* (Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales).

Thun M. (2007). La fertilidad de la tierra. *Revista de agricultura ecológica*.

Univeridad de Arizona. (2021). Desert foods for tomorrow: planting the past, present, and future, Extension Arizona. Recuperado de: <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/attachment/Chiltepin%20PDF.pdf>

Varela S. A. y Arana M. V. (2011). *Latencia y germinación de semillas. Tratamientos pregerminativos*. EEA Bariloche, INTA.

Vavrina C. S. (1996). An introduction to the production of containerized vegetable transplants. Univ. FL., Cooperative Extension Service. *Bulletin*, (302).

Vázquez C., Orozco A., Rojas M., Sánchez M. E. y Cervantes V. (1997). La reproducción de las plantas: semillas y meristemos. México: FCE.

Yaldagard M., Mortazavi S. A. y Tabatabaie F. (2008). Application of ultrasonic waves as a priming technique for accelerating and enhancing the germination of barley seed: optimization of method by the Taguchi approach. *Journal of the Institute of Brewing*, 114(1), 14-21.

Y. Chen, Q. Liu, X. Yue, Z. Meng, J. Liang Ultrasonic vibration seeds showed improved resistance to cadmium and lead in wheat seedling *Environmental Science and Pollution Research*, 20 (2013), pp. 4807-4816, 10.1007/s11356-012-1411-1